

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ДИСКРЕТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ РАДІОРЕЛЕЙНИХ СТАНЦІЙ З УРАХУВАННЯМ РЕЛЬЄФУ МІСЦЕВОСТІ

В статті розглянуте актуальне питання визначення раціонального розташування радіорелейних станцій з урахуванням рельєфу місцевості. Проаналізовані останні дослідження і публікації з цього питання. Проведений аналіз свідчить про те, що ці роботи носять теоретичний характер. В статті розглядається практичне застосування цих методів для вирішення прикладної задачі. Запропоновано застосування методу дискретної оптимізації при визначенні раціонального розташування радіорелейних станцій з урахуванням рельєфу місцевості за критерієм мінімальної імовірності бітрової помилки. Визначено взаємозв'язок та взаємний вплив між показниками якості радіорелейного зв'язку. Наведені співвідношення для розрахунку енергетичних та структурних показників радіорелейного зв'язку та їх вплив на якість зв'язку. Сформульовані додаткові умови, які необхідно враховувати при визначенні місць розгортання радіорелейних станцій на місцевості. Визначена сукупність прийомів та операцій практичного та теоретичного спрямування для розв'язання поставленої задачі. Запропонований метод дає можливість сформулювати множину альтернативних місць розташування радіорелейних станцій з урахуванням рельєфу місцевості та вибрати раціональні за визначеним критерієм.

**Ключові слова:** метод оптимізації; радіорелейний зв'язок; якість зв'язку.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Досвід проведення АТО на сході країни свідчить про збільшення просторових показників проведення операцій. Це в свою чергу вимагає переглядати основні показники оперативної побудови та бойових порядків з'єднань та військових частин. Аналіз бойових дій військ зв'язку Збройних Сил України вказує на проблемне питання забезпечення якісним зв'язком частин та підрозділів наявними силами та засобами на відстанях між пунктами управління, які відрізняються від нормативних. Від правильності вибору місць розгортання елементів системи зв'язку, обґрунтованого вибору комплексу засобів зв'язку в значній мірі залежатиме спроможність системи зв'язку забезпечити обмін інформацією з заданою якістю, а системи управління – забезпечити управління військами. Виходячи з цього, питання планування та раціонального розміщення засобів зв'язку в операційній зоні з урахуванням рельєфу місцевості є актуальним.

Оскільки радіорелейна лінія (РРЛ), як складова мережі радіорелейного зв'язку (РРЗ), являє собою ланцюг ретрансляторів, які з'єднують кінцеві станції, а її траса складається з окремих інтервалів, то будь-яку РРЛ можна розглядати, як складну дискретну систему послідовного типу, якій притаманна властивість декомпозиції. В свою чергу, показники якості є сукупністю відповідних часткових показників, які відносяться до окремих радіорелейних станцій (РРС), інтервалів, ліній мережі радіорелейного зв'язку. Тому при вирішенні задачі визначення раціонального

розташування РРС в операційній зоні з урахуванням рельєфу місцевості доцільно застосувати метод дискретної оптимізації.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблема оптимізації є одною з центральних в галузі інформаційного забезпечення процесів управління складними системами. В роботах [1-3] розглянуті теоретичні проблеми оптимізації складних систем та запропоновані можливі шляхи їх вирішення. Тому на цей час актуальним завданням є практичне застосування цих методів для вирішення прикладних задач.

Таким чином, **метою статті** є застосування методу дискретної оптимізації для визначення раціонального розташування радіорелейних станцій з урахуванням рельєфу місцевості.

В статті розглядається транспортна мережа зв'язку, яка утворюється РРС. Транспортна мережа складається з: опорної мережі зв'язку, ліній прив'язки та прямого зв'язку.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Рішення задачі вибору раціонального розташування РРС з урахуванням рельєфу місцевості на основі методу дискретної оптимізації включає:

1. Визначення взаємозв'язку та взаємного впливу між сукупністю показників якості (своєчасності, достовірності, скритності) радіорелейного зв'язку.

2. Формування множини альтернатив місць розгортання РРС.

3. Вибір критерію, який найбільш відповідає меті функціонування.

4. Оцінка кількісних величин показників для кожної альтернативи.

5. Порівняння альтернативи по вибраному критерію з урахуванням обмежень та визначення найкращого варіанту із числа допустимих.

6. Підготовка рекомендацій для прийняття рішення.

Розглянемо ці етапи детальніше.

1. Визначення взаємозв'язку та взаємного впливу між сукупністю показників якості (своєчасності, достовірності, скритності) радіорелейного зв'язку.

Якісні властивості зв'язку є взаємозалежними і, виходячи з конкретних умов, можуть бути пов'язані між собою в різних співвідношеннях. Так, своєчасність зв'язку є основним показником при оцінці процесу передачі повідомлень, особливо вищих категорій терміновості. Однак, повідомлення прийняті з достовірністю, нижче заданої, не можуть вважатися обслуженими (втрачаються), що знижує показник своєчасності зв'язку. З іншого боку, для досягнення заданого ступеня достовірності повідомлення може передаватися більш низькою швидкістю, з більшим ступенем надмірності або кілька разів. Це може призвести до збільшення часу передачі повідомлення більше допустимого (старію інформації), а також до затримки інших повідомлень, що очікують у черзі, тобто знову ж до зниження показника своєчасності зв'язку.

Скритність зв'язку є "проміжною" характеристикою зв'язку, тому що зменшення показника скритності в результаті впливу противника може привести до погіршення своєчасності та достовірності зв'язку. Крім того, застосування апаратури засекречування може зменшити загальну експлуатаційну швидкість передачі повідомлень.

Узагальнено якість зв'язку визначається ймовірністю

$$R_{\text{як}} = R_{\text{як}}(T_{\text{прд}} \leq T_{\text{прд,доп}}, D \leq D_{\text{доп}}, P_p \leq P_{p,\text{доп}}),$$

де:  $T_{\text{прд}}, T_{\text{прд,доп}}$  – час передачі повідомлень та його допустиме значення;

$D, D_{\text{доп}}$  – існуючий рівень помилок передачі повідомлень та його допустиме значення;

$P_p, P_{p,\text{доп}}$  – показник втрати скритності зв'язку (показник успішної розвідки повідомлень противником) та його допустиме значення [4].

Таким чином, для оцінки якості зв'язку можливе використання всіх трьох властивостей одночасно, так і двох з них або навіть одного з урахуванням впливу на них інших властивостей. В статті оцінка якості радіорелейного зв'язку при виборі раціонального розгортання РРС з урахуванням рельєфу місцевості здійснюється на основі показника ймовірності зв'язку з допустимою достовірністю.

Достовірність військового зв'язку полягає в здатності військового зв'язку забезпечувати відтворення інформації з заданою точністю при її обміні та обробленні [5].

Кількісно достовірність зв'язку характеризують ймовірністю зв'язку з допустимим рівнем помилок:

$$P_D(D < D_{\text{доп}}),$$

де:  $D$  – існуючий рівень помилок;

$D_{\text{доп}}$  – допустимий рівень помилок [6].

У свою чергу, рівень помилок характеризують ймовірністю помилок  $P_{\text{пом}}$ , визначення якої залежить від виду зв'язку. Так при цифровому зв'язку  $P_{\text{пом}}$  визначається як відношення кількості спотворених символів  $N_{\text{сп}}$  до загальної кількості переданих символів:

$$P_{\text{пом}} = \frac{N_{\text{сп}}}{N}.$$

При телефонному зв'язку  $P_{\text{пом}}$  визначається кількістю спотворених елементів мови  $A_{\text{сп}}$  до загальної кількості її елементів  $A$ :

$$P_{\text{пом}} = \frac{A_{\text{сп}}}{A}.$$

Під знаком мови мають на увазі звук, склад, слово, фразу. Відповідно до цього розрізняють звукову, складову, словесну та фразову артикуляцію. Аналогічно може бути введена ймовірність упізнання зображення передачі відеозображення. Отже, використовуючи ймовірність помилки можливо в цілому характеризувати достовірність зв'язку.

В загальному вигляді ймовірність помилки можна записати як

$$P_{\text{пом}} = \frac{n_{\text{пр}}}{n_{\text{прд}}},$$

де:  $n_{\text{пр}}$  – число правильно прийнятих символів;

$n_{\text{прд}}$  – загальне число переданих символів.

З огляду на те, що радіорелейна лінія являє собою багатоланкову послідовну систему, кожна ланка (радіорелейний інтервал) якої може вносити свій внесок у достовірність зв'язку, а ймовірність одночасних спотворень тих самих символів повідомлення на різних ділянках маршруту передачі є дуже малою, можна допустити, що появи спотворень є несумісними подіями. Тоді достовірність маршруту передачі можна визначити як

$$P_{Dij} = \sum_{k=1}^m P_{Dn} \text{ для } P_{Dn} \ll 1, \quad (1)$$

де:  $P_{Dij}$  – достовірність зв'язку між  $i$ -м і  $j$ -м абонентами;

$P_{Dn}$  – достовірність  $n$ -го елемента напрямку зв'язку;

$m$  – загальне число елементів у напрямку зв'язку, що входять у даний маршрут передачі.

У загальному випадку ймовірність достовірної передачі повідомлень може бути представлено деяким функціоналом виду, який враховує вплив внутрішніх та зовнішніх параметрів:

$$P_D = P_D \{E(t), S; G, L; \Psi_{ДУ}\}, \quad (2)$$

де:  $\{E(t)\}$  – множина енергетичних параметрів радіорелейного зв'язку, методика розрахунку яких запропонована в [7];

$\{S\}$  – множина структурних параметрів: протяжність РРЛ  $L$ ; число інтервалів РРЛ  $M$ ; кількість РРС в РРЛ  $m$ ; протяжністю інтервалів РРЛ  $R_i$ ; середньою протяжністю інтервалів РРЛ  $R_0$  та загальну довжину мережі радіорелейного зв'язку, висоту підвісу антен;

$\{G\}$  – множина фізико-географічних умов: рельєф, тип підстилаючої поверхні, клімат, координати розгортання РРС та ін.

$\{L\}$  – множина втрат, які обумовлені послабленням радіохвиль у вільному просторі, за рахунок рельєфу місцевості, завмиранням та дією РЕБ противника.

$\{\Psi_{ДУ}\}$  – множина додаткових умов, які важко формалізуються, але які необхідно враховувати при виборі місць розгортання РРС на місцевості. До таких, наприклад, належать: електромагнітна сумісність, маскування, рельєф місцевості, захист від засобів радіоподавлення, вимоги до довжини інтервалу та ін.

Зупинимось на цих умовах більш детально.

Радіорелейні станції доцільно розгортати поза межами пункту управління та вузла зв'язку. При розташуванні РРС слід враховувати електромагнітну сумісність з іншими радіозасобами. У напрямку на кореспондента не повинно бути близькорозташованих ліній електроживлення, антенних полів, аеродромів, розташованих на трасі РРЛ.

Місця розгортання РРС повинні мати шляхи для під'їзду, забезпечувати можливість організації охорони, оборони, інженерного обладнання і маскування РРС.

Радіорелейні станції доцільно розташовувати на домінуючих висотах з використанням екрануючих властивостей місцевості у напрямку на РРС противника, а також на свої радіозасоби, які можуть створити завади РРС.

У напрямку на кореспондента закриття за рахунок рельєфу місцевості має бути мінімальним. На інтервалі бажано мати місцевість, покриту лісом, чагарником, уникати водних та рівнинних місць, які можуть призвести до появи сильного відбитого променя від поверхні Землі.

### 3. Вибір критерію оптимальності.

Критерій, який найбільш повно відповідає меті функціонування, тобто своєчасній, достовірній та скритій передачі інформації в системі управління військами і зброєю є імовірність бітової помилки  $P_{пом}$  не більше допустимої. Тобто

$$P_D = P(P_{пом} \leq P_{пом, доп}).$$

Отже, постановка задачі оптимізації мережі РРЗ формулюється так: потрібно знайти такі

внутрішні параметри  $\{E(t)\}, \{S\}$ , які забезпечать екстремум критерію  $P_D$  при заданих зовнішніх параметрах  $\{G\}, \{L\}, \{\Psi_{ДУ}\}$ .

$$P_D \Rightarrow \text{ext} P_D,$$

$$P_D \Rightarrow \max P_D, \quad (3)$$

$$P_{пом} \Rightarrow \min P_{пом}$$

Таким чином, при порівнянні різних варіантів первинної мережі радіорелейного зв'язку по показнику достовірності зв'язку за допомогою виразу (2) отримуємо ряд значень достовірності на напрямках від кожного пункту управління ( $P_{Di}$ ,  $i = \overline{1, n}$  де  $n$  – кількість напрямків зв'язку від пункту управління). Безпосереднє порівняння варіантів проведемо за допомогою виразу (4)

$$P_D \text{ пу} = \min(P_{Di}), \quad (4)$$

де:  $P_D \text{ пу}$  – значення показника достовірності зв'язку від розглянутого пункту управління.

4. Оцінка кількісних величин показників для кожної альтернативи.

Вибір варіантів побудови мережі радіорелейного зв'язку, оптимальних по вибраному критерію.

Для оцінювання кількісних величин показників використаємо наступні співвідношення:

#### 1. Енергетична ефективність радіолінії

$$h^2 = \frac{E_6}{N_0} = \frac{P_c \tau_6}{N_0} = \frac{P_c}{N_0 \cdot \Delta f} = \frac{P_c}{P_{ш}}, \quad (5)$$

де:  $E_6$  – енергія символу, яким передається біт інформації;

$P_c/P_{ш}$  – відношення потужностей сигнал/шум на вході вирішувального пристрою радіоприймача з інформаційною шириною смуги пропускання  $\Pi_i = 1/T_6$ , що обернено пропорційна тривалості символу  $T_6$ .

Від  $h^2$  безпосередньо залежить ймовірність бітових помилок  $P_{пом}$ , що характеризує достовірність зв'язку, а опосередковано залежить і своєчасність, тому що на виявлення і усунення помилок потрібен додатковий час.

2. Чутливість радіоприймального пристрою (РПП) характеризує його здатність приймати слабкі сигнали. Кількісно вона оцінюється мінімальним рівнем приймаемого сигналу  $P_{с,мін}$ , за якого інформація, що передається, відтворюється з необхідною достовірністю. В режимі узгодження [8,9]

$$P_{с,мін} = kT^\circ \Pi_{ш} (t_a + N - 1) h^2, \quad (6)$$

де:  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/град – стала Больцмана;  $T^\circ = 293^\circ\text{K}$  – абсолютне значення кімнатної температури;

$\Pi_{ш} = 1,1\Pi$  – шумова смуга пропускання РПП [8];

$N$  – коефіцієнт шуму РПП, в наземних РРС  $N = 3-$

7;  $h^2$  – енергетична ефективність радіолінії, що визначена за формулою (5);

$t_a$  – відносна шумова температура антени.

3. Потужність радіопередавача  $P_{\text{прд}}$  має бути такою, щоб потужність сигналу  $P_c$  на вході радіоприймача, з яким він підтримує зв'язок, була не меншою чутливості  $P_{c,\text{мін}}$  цього радіоприймача.

Згідно [4,10], потужність сигналу на вході радіоприймача

$$P_c = \frac{P_{\text{прд}} G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} \lambda^2 \eta_{\text{прд}} \eta_{\text{прм}} W_{\text{вп}}}{(4\pi R)^2}, \quad (7)$$

отже, потужність радіопередавача має бути не меншою

$$P_{\text{прд}} = \frac{(4\pi R)^2 P_{c,\text{мін}}}{G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} \lambda^2 \eta_{\text{прд}} \eta_{\text{прм}} W_{\text{вп}}}, \quad (8)$$

де:  $R$  – максимальна відстань між передавачем і приймачем;

$G_{\text{прд}} G_{\text{прм}}$  – коефіцієнти підсилення

передавальної і приймальної антен;

$\lambda$  – довжина хвилі радіосигналу;

$\eta_{\text{прд}} \eta_{\text{прм}}$  – коефіцієнти корисної дії фідерних трактів передавального і приймального пристроїв;

$W_{\text{вп}}$  – коефіцієнт, що враховує втрати потужності радіосигналу в вільному просторі.

4. Протяжність РРЛ  $L$ , км

$$L = M \cdot R_i, \quad (9)$$

де:  $M$  – число інтервалів РРЛ;

$R_i$  – протяжність інтервалів РРЛ, км.

5. Кількість РРС в РРЛ  $m$ , од.

$$m = M + 1 \quad (10)$$

6. Середня протяжність інтервалів РРЛ  $R_o$ , км

$$R_o = \frac{L}{M}. \quad (11)$$

7. Втрати, які обумовлені послабленням радіохвиль у вільному просторі, дБ

$$W_{\text{вп}} = 10 \lg \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 = 20 \lg \frac{4\pi R}{\lambda}. \quad (12)$$

8. Втрати, які обумовлені послабленням радіохвиль рельєфом місцевості, дБ, розраховується згідно до виразу (13) [11]

$$W_p = \sqrt{1 + \Phi^2 + 2\Phi \cos \left( \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r + \beta \right)}, \quad (13)$$

де:  $\Phi$  – модуль ефективного відбиття;

$\Delta r$  – різниця ходу прямої і відбитої хвиль ( $\Delta r = r_2 + r_3 - r_1$ );

$\beta$  – зміна фази радіосигналу в результаті відбиття;

$(2\pi/\lambda)\Delta r$  – зсув фаз прямої і відбитої радіохвиль.

З формули виходить, що при  $\Phi_{\text{макс}} = 1$  границі змін складають  $0 \leq W_p \leq 2$ . У загальному випадку величини  $\Phi$  і  $\beta$  є функціями поляризації

передавальної хвилі, кута  $\theta_v$  зустрічі, довжини хвилі  $\lambda$ , характеру і електричних параметрів земної поверхні поблизу області відбиття. Відомо, що при гладкій земній поверхні  $h_1, h_2 \ll R$ ,  $\theta_v < 1^\circ$  і деяких інших спрощеннях  $\beta = 180^\circ$ . Тоді

$$W_p = \sqrt{1 + \Phi^2 - 2\Phi \cos \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r}.$$

Величина  $\Phi$  визначається залежно від типу поверхні вздовж РРЛ по таблиці 1.

Таблиця 1

Тип поверхні	Коефіцієнт $\Phi$ для		
	$\lambda = 7$ см	$\lambda = 20$ см	$\lambda = 50$ см
Водна поверхня	0,8–0,95	0,9–0,95	0,9–0,95
Рівнина, заплавні луги	0,6–0,8	0,8–0,9	0,9
Сухий ґрунт, піски	0,3–0,5	0,4–0,6	0,6–0,7
Середньопересічена місцевість	0,4–0,6	0,6–0,8	0,8–0,9
Ліс	0,3–0,4	0,8	0,9

Розрахунок показника достовірності імовірності бітової помилки  $P_{\text{пом}}$ , здійснюється для всіх можливих варіантів інтервалів.

Після розрахунку основних параметрів згідно (5)–(13) проведемо розрахунок імовірності бітової помилки при умові  $P_{\text{пом}} \leq 10^{-3}$  якій відповідає

$$h^2 = \frac{E_{\delta}}{N_0} = \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} = 10 \text{ дБ}. \quad (14)$$

Для забезпечення рівня помилки  $p_{\text{біт}} \leq 10^{-5}$  необхідно отримати значення

$$h^2 = \frac{E_{\delta}}{N_0} = \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} = 12 \text{ дБ}, \text{ який дає підвищення}$$

достовірності на два порядки або підвищує енергетичну ефективність на 2 дБ. Для цього запишемо вираз (14) як різницю між прийнятим відношенням сигнал/шум та потрібним, дБ

$$h^2 = \left( \frac{E_{\delta}}{N_0} \right)_{\text{прм}} - \left( \frac{E_{\delta}}{N_0} \right)_{\text{потр}}. \quad (15)$$

Або з урахуванням всіх енергетичних показників:

$$h^2 = \frac{P_{\text{прд}} G_A / T^\circ}{(E_{\delta}/N_0)_{\text{потр}} V_k W_{\text{вп}} W_p W_3}. \quad (16)$$

Вираз (15) містить всі параметри, які впливають на достовірність радіорелейного військового зв'язку.

Для кількісної оцінки параметрів переписемо (16) в децибелах наступним чином:

$$h^2 = P_{\text{прд}} + G_A - (E_{\delta}/N_0)_{\text{потр}} - V - kT^\circ - W_{\text{вп}} - W_p - W_3, \quad (17)$$

де: потужність сигналу  $P_{\text{прд}}$  вимірюється у децибел-ватах, дБВт; спектральна щільність потужності шуму  $N_0$  – у децибел-ватах на герц, (дБВт/Гц); підсилення антени  $G_A$  – в децибелах відносно ізотропного підсилення, дБі; швидкість передачі даних  $V$  – в децибелах відносно величини 1 біт/с, дБбіт/с; решта показників – у децибелах, дБ [12].

Таким чином, в результаті виконання цього етапу для кожного допустимого варіанту інтервалу отримуємо відповідні значення показників достовірності.

5. Порівняння альтернативи по вибраному критерію з урахуванням обмежень та визначення найкращого варіанту із числа допустимих.

Після розрахунку значень показників достовірності та врахування додаткових умов  $\Psi_{\text{ду}}$  здійснюється порівняння альтернатив місць розгортання РРС по вибраному критерію з урахуванням обмежень та визначення найкращого варіанту із числа допустимих.

6. Таким чином, при порівнянні різних варіантів розташування радіорелейних станцій по показниках достовірності зв'язку за допомогою виразу (1) отримують ряд значень достовірності на напрямках від кожного пункту управління. Безпосереднє порівняння варіантів може проводитися по виразу (17).

Аналіз альтернатив дає можливість підготувати рекомендації для прийняття рішення на раціональне розташування радіорелейних станцій з урахуванням рельєфу місцевості.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, в статті розглянутий метод дискретної оптимізації при визначенні раціонального розташування радіорелейних станцій з урахуванням рельєфу місцевості за критерієм мінімуму імовірності бітової помилки.

В перспективі планується підвищити рівень автоматизації процесу розрахунку параметрів радіорелейного інтервалу шляхом розробки алгоритму автоматизованого розрахунку радіорелейного інтервалу.

### Література

1. Digital Radio-Relay Systems. – Geneva: ITU. – 1996. – 395 с. 2. Зайченко Ю. П., Гонга Ю. П. Структурная оптимизация сетей ЭВМ. – К.: “Техника”. – 1986. – 192 с. 3. Воронин А. Н. Многокритериальные решения: модели и методы: монография / А. Н. Воронин, Ю. К. Зиятдинов, М.В. Куклинский. – К.: НАУ. – 2011. – 348 с. 4. Огороднійчук М. Д. Комплекси і засоби військових телекомунікаційних мереж / М. Д. Огороднійчук, Ю. Д. Чайка, О. Г. Оксіюк. – К.: МО України – НУОУ. – 2010. – 384 с. 5. Зв'язок військовий. Терміни та визначення. ДСТУ В-3265-95. – К.: Держстандарт України, 1996. – 23 с. 6. Тузова Г. И. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / под ред. Г. И. Тузова. – М.: Радио и связь. – 1985. – 264 с. 7. Огороднійчук М. Д. Методика розрахунку енергетичних і спектральних характеристик широкосмугових радіоліній зв'язку /

М. Д. Огороднійчук, І. Ю. Целішев, Д. Г. Шевченко // Збірник наукових праць ДНДІА. – 2014. – № 9 (16). – С. 96–102. 8. Белкин М. К. Справочник по учебному проектированию приемно-усилительных устройств / М. К. Белкин, В. Т. Белинский, Ю. Л. Мазор, Р. М. Терещук. – К.: “Вища школа”. – 1988. – 472 с. 9. Огороднійчук М. Д. Аналогові електронні пристрої. Підручник / М. Д. Огороднійчук. – К.: МО України – КІ ВПС. – 2000. – 232 с. 10. Волков Л. Н. Системы цифровой радиосвязи / Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шинаков. – М.: Эко-Трендз. – 2005. – 392 с. 11. Родимов А. П. Военные системы радиорелейной и тропосферной связи / под ред. А. П. Родимова. – Л.: ВАС, 1984. – 414 с. 12. Склад Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003. – 1104 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДИСКРЕТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СТАНЦИЙ С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

Дмитрий Георгиевич Шевченко

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

*В статье рассмотрен актуальный вопрос определения рационального размещения радиорелейных станций с учетом рельефа местности. Проанализированы последние исследования и публикации по этому вопросу. Анализ работ свидетельствует о том, что они носят теоретический характер. В статье рассматривается практическое применение этих методов для решения прикладной задачи. Предложено использование метода дискретной оптимизации при определении рационального размещения радиорелейных станций с учетом рельефа местности по критерию минимальной вероятности битовой ошибки. Определена взаимосвязь между показателями качества радиорелейной связи. Приведены соотношения для расчета энергетических и структурных показателей радиорелейной связи и их влияния на качество связи. Сформулированы дополнительные условия, которые необходимо учитывать при определении мест развертывания радиорелейных станций на местности. Определена совокупность приемов и операций практического и теоретического характера для решения поставленной задачи. Предложенный метод позволяет сформировать множество альтернативных*

мест размещения радиорелейных станций с учетом рельефа местности и выбрать рациональные по заданному критерию.

**Ключові слова:** метод оптимізації; радиорелейна зв'язь; якість зв'язі.

**METHOD OF DISCRETE OPTIMIZATION FOR DETERMINATION OF RATIONAL PLACEMENT WITH REGARD RELAY STATIONS TERRAIN**

*Dmytro H. Shevchenko*

*National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhsovsky, Kyiv, Ukraine*

The article deals with the actual issue the rational distribution of radio relay stations of determination, taking into account the terrain. Recent studies and publications on the subject were analyzed. Analysis of work shows that they are theoretical. The article deals with the practical using of these methods to solve the applied problem. It is proposed to use the method of discrete optimization when rational allocation determination of radio relay stations, taking into accounts the terrain by the minimum bit error rate criterion. The correlation between the indexes of the radio-relay communication quality was determined. The ratios for calculation of the energy and structural indexes of the radio-relay communication and their impact on the communication quality were given. The additional conditions that must be considered when determining deployment sites of radio relay stations on the surface were formulated. The set of practical and theoretical methods and operations for solving the problem was determined. The proposed method allows to form a plurality of alternative placements, radio relay stations, with due consideration of the surface relief and choose the rational for a given criterion.

**Keywords:** optimization method; radio relay communication; communication quality.

**References**

1. **Digital** Radio-Relay Systems. – Geneva: ITU. – 1996. – 395 c.
2. **Zajchenko Y.P.**, Gonta Y.P. (1986), Structural optimization networks [Strukturnaya optimizatsiya setey EVM], Kyiv.: “Tehnika”, 192 p.
3. **Voronin A.N.** (2011), Semi-criterion solutions: models and methods [Mnogokriterialnyie resheniya: modeli i metody], A.N. Voronin, Y.K. Ziatdinov, M.V. Kuklinskii, Kyiv.: NAU, 348 p.
4. **Ogorodniichuk N.D.** (2010) Complexes and techniques military communications networks [Komplekcy i zasoby vijskovykh telekomunikacijnykh mrezh], N.D. Ogorodniichuk, Y.D. Chaika, O.G. Oksiyuk, Kyiv: MO Ukrainy, NUOU, 384 p.
5. **Military communications.** Terms and definitions (1996). [Zv'jazok vijskovyj. Terminy ta vyznachennja] DSTU B-3265-95. – Kyiv: Statestandart of Ukraine, 23 p.
6. **Tuzova G.I.** (1985), Immunity radiosystems with complex signal [Pomehozaschischennost radiosistem so slozhnyimi signalami], G.I. Tuzova, Moscow: Radio and communications, 264 p.
7. **Ogorodniichuk N.D.** Method of calculations of energy and spectral characteristics bandwidth radio links [Metodyka rozrakhunku energhetychnykh i spektralnykh kharakterystyk shyrokosmughovykh radiolinij zv'jazku], N.D. Ogorodniichuk, I.Y. Tselishev, D.G. Shevchenko, Zbirnyk naukovykh prats DNDIA, Kyiv, No.9 (16), pp. 96–102.
8. **Belkin M.K.** (1988) Reference curriculum design receiving devices [Spravochnik po uchebnomu proektirovaniyu priemno-usilitelnykh ustroystv], M.K. Belkin, V.T. Belinskii, Y.L. Mazor, R.M. Tereschuk, Kyiv.: “Vyscha shkola”, 472 p.
9. **Ogorodniichuk N.D.** (2000), Analog electronic devices. Tutorial [Analoghovi elektronni prystroji. Pidruchnyk], N.D. Ogorodniichuk, Kyiv.: MO Ukrainy, KI VPS., 232 p.
10. **Volkov L.N.** (2005) Digital radio systems [Sistemyi tsifrovoy radiosvyazi], L.N. Volkov, M.S. Nemirivskii, Y.S. Shinakov, Moscow: Eco-Trends, 392 p.
11. **Rodimov A.P.** (1984), Military relay and troposphere systems [Voennyie sistemyi radioreleynoy i troposfernoy svyazi], Lviv.: VAS., 414 p.
12. **Bernard Sklar.** (2003) Digital communications. Fundamentals and Applications. [Tsifrovaya svyaz. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primenenie] 2nd Edition, 1104 p.

Отримано: 24.03.2016 року.